

Министерство образования Украины  
Харьковский автомобильно-дорожный институт

ЖИДКОВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА

БЕТОН С ДОБАВКОЙ МЕЛА, КАК ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ  
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЕГО ВЯЖУЩЕГО КОМПОНЕНТА

Специальность 05.23.05  
Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических  
наук

Харьков, 1992

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа выполнена в Харьковском институте инженеров городского хозяйства

Научные руководители - кандидат технических наук, доцент  
М.С.Золотов

- кандидат технических наук, старший  
научный сотрудник М.И.Стрелков

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
А.В.Ушеров-Маршак

- кандидат технических наук, доцент  
А.Г.Ольгинский

Ведущая организация - ЮНИИЦемент

Защита состоится " " 1992 г. в ча-  
сов на заседании специализированного совета К 066.12.02 "Строи-  
тельные материалы и изделия" при Харьковском автомобильно-  
дорожном институте.

310078, Харьков, Петровского, 25

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке институ-  
та.

Автореферат разослан " " 1992 г.

Ученый секретарь специа-  
лизированного совета кан-  
дидат технических наук,  
доцент

А.В.Космин

Актуальность. Бетон на портландцементе является важнейшим конструкционным материалом строительства. В связи с этим задача повышения качества бетона, увеличения объемов его производства из лимитируемого количества клинкера очень актуальна. Известным приемом, снижающим расход цемента, как наиболее энергоемкого компонента бетона, является введение в состав последнего активных минеральных добавок и микронаполнителей, в частности, карбонатных.

Мел - местная недефицитная карбонатная порода, состоящая из мельчайших частиц кальцита. Введение мела в бетон в виде суспензии, в которой частицы кальцита диспергированы до размера 1 - 10 мкм, повышает качество бетона, создает предпосылки для экономии цемента. Такой метод введения мела в бетон исключает сушку и помол исходной породы.

Реализация результатов исследования вносит вклад в решение экологической, энерго- и ресурсосберегающей проблем, позволяет увеличить выпуск бетонных и железобетонных изделий за счет снижения удельного расхода цемента в бетоне.

Цель работы: обоснование возможности и целесообразности применения добавки мела в бетон для повышения его качества и снижения расхода цемента.

### Автор защищает:

- новую концепцию использования мела в бетоне;
- теоретическое обоснование роли частиц высокодисперсного мела в формировании структуры цементного камня;
- уточненный состав новообразований в цементном камне в присутствии высокодисперсного мела;
- метод введения мела в бетонную смесь;
- предложенный механизм самозащитенности бетона, содержащего мел, в магниезиальных агрессивных жидких средах;
- обоснование физико-механических и технологических свойств цементного камня и бетона, содержащего мел.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- обоснован новый подход к использованию мела в бетоне;
- определена роль мела в формировании структуры цементного камня;

- обобщены данные о составе новообразований в цементном камне в присутствии  $\text{CaCO}_3$ , экспериментально подтверждено присутствие серии твердых растворов, связывающих  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ;
- установлена роль мела в повышении стойкости бетона при воздействии агрессивных жидких сред, в приобретении бетоном нового свойства самозащитности в магниальных агрессивных жидких средах (А.С. № I498732) ;
- изучены основные физико-механические и технологические свойства бетона с добавкой мела. Доказано повышение водонепроницаемости (А.С. № I655939), солеморозостойкости бетонов с оптимальным соотношением цемента, мела и песка ;
- установлено, что бетон с добавкой мела обладает универсальностью; определены области наиболее эффективного его использования;
- предложен экономичный и экологически чистый способ введения мела в бетонную смесь.

Практическая значимость работы заключается в том, что введение мела в бетонную смесь с водой затворения в виде суспензии дает возможность экономить цемент, получать бетон повышенной плотности; водонепроницаемости, коррозионной стойкости и универсальности экономичным и экологически чистым способом. Экономия цемента составляет 30 - 150 кг/м<sup>3</sup> бетона.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась увеличением количества испытываемых образцов для достижения заданных значений доверительного интервала; применением современной аппаратуры и приборов, независимых методов исследования, методов математической статистики ; производственной проверкой результатов исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Всесоюзной конференции "Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии" (Белгород 1991) ; Республиканской конференции "Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов" (Харьков, 1989); IV конференции молодых ученых и специалистов (Белгород, 1989); научно-техническом семинаре (Челябинск, 1989); XXIV и XXV научно-технических конференциях ХИИГХ (1988, 1990). По теме диссертации имеется 8 публикаций, получено 2 авторских свидетельства.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 147 стра-

ницах машинописного текста, в том числе содержит 23 таблицы, 32 рисунка, состоит из введения, 7 глав, общих выводов и приложений. Список использованной литературы включает 145 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вопрос влияния карбоната кальция на структурообразование в цементном камне и бетоне отражен В.Н. Юнгом, А.С.Пантелеевым, П.П.Будниковым, Ю.М.Буттом, И.Г.Бубениным, В.В.Тимашевым, В.М.Колбасовым, М.И.Стрелковым, Э.Р.Пинусом, Р.Л.Маэляном, Э.М.Ларионовой, Л.Г.Шпыновой, Я.Ямбором и др.

Они показали, что кальцит обладает химической активностью по отношению к алюмосодержащим фазам портландцементного клинкера и карбонатам щелочных металлов ; оптимальное количество добавки способствует повышению плотности и водонепроницаемости бетона, создает предпосылки для экономии цемента. Карбонатные микронаполнители широко применяются за рубежом. На VIII Международном конгрессе по химии цемента обсуждался проект общеевропейского стандарта на цемент, содержащий молотый известняк. Известны работы по созданию карбонатного портландцемента, содержащего 25 - 30 % молотого известняка. В отношении мела в настоящее время сохраняется мнение о том, что введение его в состав бетона приводит к снижению прочностных показателей последнего, что связано с низкой механической прочностью породы, повышенной гигроскопичностью и агломерационной способностью молотого мела. В то же время мел имеет ряд свойств, выгодно отличающих его от других карбонатных пород. Исследованию структуры и свойств мела посвящены труды известных ученых Г.И.Бушинского, С.И.Шуменко, И.М.Горьковой, Ю.Г.Копысова, К.Ф.Пауса и И.С.Евтушенко, Г.В.Лавровой и др.

Из анализа этих работ видно, что для мела вообще, а для пород Харьковской области, в частности, характерна высокая химическая чистота, отсутствие вредных примесей. Основной компонент микроструктуры мела - пелитоморфнозернистая составляющая, в которой содержание частиц размером 1 - 10 мкм составляет 95 - 98 %. Мел легко размучивается при диспергации в воде до частиц указанных размеров. Влияние карбонатных добавок такой степени дисперсности на свойства бетона практически не изучалось. Исходя из этих предпосылок была принята рабочая гипотеза о том, что при введении суспензии мела в бетонную смесь он присутствует в бетоне в виде мельчайших частиц кальцита, обладающих высокой прочностью и

выполняет роль активной минеральной добавки и полидисперсного микронаполнителя, гранулометрически совместимого с зернами цемента и продуктами его гидратации.

В связи с этим в задачи исследования входило определение влияния мела на состав новообразований, свойства бетона и его вяжущего компонента, изучение возможности применения мела в виде комплексной добавки с пластификаторами, а также разработка метода введения мела в бетонную смесь.

Для решения поставленных задач были проведены исследования свойств бетона, цементного камня и раствора, содержащего мел в разных пропорциях. При этом в бетон мел вводили взамен части цемента или песка.

При изготовлении образцов использовали следующие материалы: вяжущее - портландцемент, шлакопортландцемент и быстротвердеющий портландцемент Балаклейского завода, сульфатостойкий портландцемент Амвросиевского завода, портландцемент Старооскольского завода; крупный заполнитель - гранитный щебень Кременчугского и Знаменского карьеров; мелкий - кварцевые пески Безлюповского, Купянского месторождений; мел - Белгородского, Славянского и Балаклейского месторождений; химические пластифицирующие добавки: СДБ (ГОСТ 81-79-74, ТУ 81-04-225-73); ХДСК-СДБ модифицированный щелочью; ПФ (ТУ 84-512-13-82); М-4 (ТУ 81-94-225-73). Методики применяли, в основном, стандартные в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Деформативность бетонов определяли методом электротензометрирования. Коррозионную стойкость устанавливали по методикам, разработанным и апробированным в Харьковском ПромстройНИИпроекте. Для исследования качественного состава продуктов гидратации использовали методы рентгеновской дифрактометрии, инфракрасной спектроскопии, дифференциально-термический и микроскопический анализ.

Диапазон содержания добавки мела в бетоне определяли из предположений его роли в формировании структуры цементного камня.

Максимальное количество добавки принимали, считая мел высокодисперсным микронаполнителем, гранулометрически совместимым с зернами цемента и продуктами его новообразований. Учитывая, что размер частиц мела сопоставим с размерами капилляров цементного камня, а характер кривой распределения частиц по размеру адекватен области оптимального зернового состава заполнителей в бетоне, предполагали, что введение мела в количестве до 40 % от массы цемента будет способствовать созданию жесткого кристаллического кар-

каса цементного камня - "микробетона".

При определении минимального количества добавки учитывали способность кальцита взаимодействовать с продуктами гидратации цемента с образованием моногидрокарбоалюмината и моногидрокарбоферрита кальция, твердых растворов гидрокарбоалюмината, гидрокарбоферрита и гидроксида кальция, гидрокарбонатов щелочных металлов и двойных солей типа  $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot aq$ . Максимальное количество кальцита, который может быть связан в указанные соединения рассчитывали по предложенной нами формуле:

$$\text{CaCO}_3 = 0,37a_1C_3A + 0,41 a_2C_4AF - 1,16\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + k_3(0,43a_3C_3S + 0,58a_4C_2S) \quad (I)$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4$  - степень гидратации клинкерных минералов, соответственно  $C_3A, C_4AF, C_3S, C_2S$  к расчетному сроку твердения;

$k_3$  - коэффициент снижения содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  
 $C_3A, C_4AF, C_3S, C_2S, \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - содержание клинкерных минералов и гипса в цементе, %.

Расчет показал, что при гидратации среднеалюминатных цемента может быть связано более 12 % кальцита.

Микроскопические исследования показывают повышение плотности бетона при введении добавки мела, изменение характера пористости в сторону образования мелких и замкнутых пор.

Результаты физико-химических исследований подтверждают теоретические данные о том, что кальцит не только взаимодействует с алюмосодержащими фазами портландцементного клинкера, но связывает определенное количество портландита в труднорастворимые соединения, а также способствует повышению степени гидратации цемента. Это приводит к увеличению концентрации новообразований в цементном камне и к повышению прочности бетона.

Для предварительной оценки коррозионной стойкости вяжущего компонента бетона проводили эксперименты в 36 составах агрессивных растворов 10%-ной концентрации, содержащих сульфаты и хлориды натрия и магния в различных пропорциях. В наиболее агрессивных растворах был определен коэффициент стойкости (КС) по методике Стейнеггера-ХПСНИИП. Исследовали цементно-песчаный раствор на Балаклейском, Старооскольском, Амвросиевском сульфатостойком цементе и на вяжущем компоненте бетона, содержащем до 30% мела. Составы, содержащие мел оказались наиболее стойкими во всех растворах и, что особенно важно, в магниевых средах.

Причина высокой коррозионной стойкости бетона содержащего мел, на наш взгляд, заключается в следующем: при действии сульфатов и хлоридов магния образование труднорастворимого, коллоидной степени дисперсности брусита происходит в наружном слое бетона. Брусит колюматрирует капилляры, прекращая тем самым доступ агрессивного раствора внутрь бетона. Рентгеновский фазовый анализ подтверждает этот вывод.

Известно, что раствор, содержащий ионы магния агрессивен для бетонов на портландцементе. Для бетона, в состав которого входит мел, этот фактор становится структурообразующим. Такой бетон самоуплотняется при эксплуатации в магниезиальных жидких средах.

При замене мелом части цемента в бетонной смеси с оптимальным соотношением компонентов, жесткость ее снижается. При этом минимальную жесткость имеет состав, содержащий 20-25 % мела, а водопотребность смесей, в которых мелом заменено 30-35 % цемента или песка, такая же как и у бетонной смеси на чистом портландцементе. Пластифицирующая способность мела связана с его гранулометрической совместимостью с зёрнами цемента.

Исследование прочностных характеристик бетона и его вяжущего компонента показали, что при замене мелом 10% цемента прочность при сжатии не снижается, а прочность при изгибе возрастает. В более поздние сроки твердения прочность при сжатии бетона, содержащего 10% мела взамен цемента выше, чем у бетона на чистом портландцементе (табл. I).

Введение мела в бетон в комплексе с пластификатором ХДСК позволяет снизить расход цемента в бетоне, принятый по требованиям прочности при сжатии, до 20 %.

В тех случаях, когда расход цемента в бетоне принят по требованиям водонепроницаемости, он может быть снижен за счет мела на 25 %, а при совместном введении мела и пластификатора ХДСК до 30 - 35 % (рис. I).

При замене мелом части песка в бетоне его прочности при сжатии, изгибе, а также водонепроницаемость и морозостойкость повышаются. При этом максимальным значениям прочности при сжатии и водонепроницаемости соответствует увеличение общего расхода вяжущего (смеси цемента с мелом), примерно на 30 % (рис. 2).

Уменьшение расхода цемента на 10-30% за счет мела не приводит к снижению марки по морозостойкости. В том случае, когда средой насыщения и оттаивания служит раствор хлорида натрия, коэффициент морозостойкости бетона, содержащего 10 и 20 % мела выше, чем у

Таблица I

Физико-механические характеристики  
иллюстрирующие влияние добавки мела  
на рост прочности бетона при его  
естественном твердении

№ сос- тава	ПШ М500 кг/% сод.	Мел кг/% сод.	Средняя плотность, кг/м³	Предел прочности при сжатии, МПа возраст бетона / снижение прочнос- ти при введении ме- ла, %			
				28 дн.	3 мес.	1 год	2 года
I.	<u>377</u> 100	<u>0</u> 0	2410	<u>36,6</u> 100	<u>41,7</u> 100	<u>46,7</u> 100	<u>47,0</u> 100
2.	<u>340</u> 90,2	<u>37</u> 9,8	2406	<u>36,2</u> 98,9	<u>41,8</u> 100,2	<u>47,3</u> 101,3	<u>48,2</u> 102,6
3.	<u>302</u> 80,1	<u>75</u> 19,9	2387	<u>33,2</u> 90,6	<u>38,8</u> 93,0	<u>44,2</u> 94,6	<u>45,8</u> 97,2
4.	<u>275</u> 72,9	<u>105</u> 27,1	2350	<u>28,0</u> 76,5	<u>33,4</u> 80,0	<u>38,3</u> 82,0	<u>39,7</u> 84,0
5.	<u>227</u> 60,2	<u>150</u> 39,8	2316	<u>22,0</u> 60,0	<u>26,7</u> 64,0	<u>32,7</u> 70,1	<u>34,1</u> 72,3

бетона на чистом портландцементе.

Повышение морозостойкости и водонепроницаемости бетона при введении в его состав мела, по предлагаемой технологии, связано с изменением характера капиллярной пористости, что подтверждается снижением водопоглощения.

Для выяснения причин повышенной морозостойкости бетона, содержащего мел, проводились исследования вяжущих композиций, содержащих  $C_3A$ ,  $C_3S$ , мел и гипс. Средой насыщения и оттаивания служил 10 % раствор хлорида натрия. Как свидетельствуют данные эксперимента, система  $C_3A + C_3S + \text{мел}$ , обладает значительно большей стойкостью чем система  $C_3A + C_3S + \text{гипс}$ .

Проведенные эксперименты показали, что оптимальное содержание добавки мела в бетоне составляет 10 - 40 % и зависит от совокупности требований, предъявляемых к бетону. Экономия цемента при этом составит 30-150 кг/м³.

На основании анализа результатов серии многофакторных экспериментов были получены уравнения регрессии, с помощью которых можно рассчитать соотношение компонентов в бетоне в зависимости от

Графики зависимости прочности /1/ и водонепроницаемости /2/ бетона от содержания мела в составе вяжущего компонента бетона (общий расход цемента и мела 377 кг/м<sup>3</sup>)

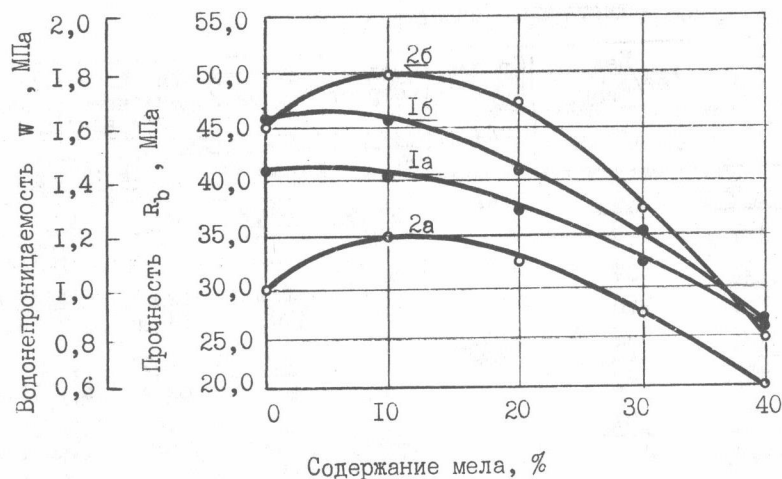


Рис. 1

а - без пластификатора;  
б - с добавкой ХДСК

предъявляемых требований по прочности и водонепроницаемости.

Технологические схемы введения добавки мела в бетонную смесь учитывали особенности породы: высокую природную дисперсность, слабую сцементированность частиц. В соответствии с этим, по предлагаемому способу, как уже указывалось, мел вводился в бетон в виде меловой суспензии с водой затворения. Суспензию готовят из молотого мела с размером частиц 2-5 мм при барботировании ее сжатым воздухом.

При использовании комового мела с естественной влажностью и прочной структурой меловой шлам целесообразно готовить в мельнице мокрого помола. Такой шлам при концентрации мела 50-60 % может сохраняться, не расслаиваясь, длительное время. Использование мела в составе комплексной добавки с лигносульфонатами позволяет приготовить добавку более высокой концентрации.

Предлагаемый способ введения мела в бетонную смесь исключает

Графики, характеризующие изменение прочности при сжатии (1) и водонепроницаемости (2) при замене мелом части песка (содержание цемента 300 кг/м<sup>3</sup>)

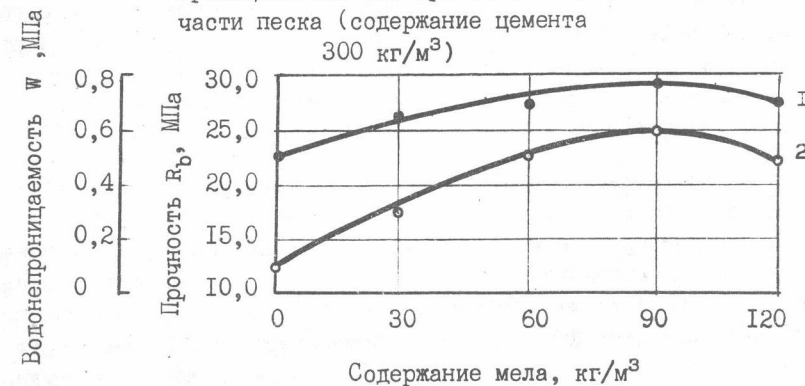


Рис. 2

предварительную сушку и тонкий помол исходной породы, что выгодно отличает его от общепринятых методов введения микронаполнителей и активных минеральных добавок, которые требуют значительные трудовые и энергетические затраты.

Бетон с добавкой мела, введенной по предлагаемой технологии, может использоваться практически для всех случаев строительства. Исключение составляет бетон для службы в условиях кислотной агрессии. Особо эффективен такой бетон для конструкций, работающих в условиях воздействия природных агрессивных вод, содержащих соли магния. Добавка мела позволяет исключить применение дефицитного и дорогостоящего сульфатостойкого цемента.

Поверхность изделий из бетона, содержащего мел, как правило, светлая, гладкая, лишенная высолов, поэтому такой бетон может использоваться как декоративный.

Введение мела в бетонную смесь ведет к повышению ее связности и снижению седиментационных процессов. Благодаря этому такие смеси могут транспортироваться на значительные расстояния без расслоения.



## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Доказана эффективность и целесообразность использования добавки мела в бетон в высокодисперсном состоянии, в виде суспензии. Оптимальное содержание мела на  $1 \text{ м}^3$  составляет 10-40 % от массы цемента и зависит от требований прочности и долговечности, предъявляемых к бетону. При этом достигается экономия цемента 30-150 кг/ $\text{м}^3$  бетона.

2. Исследования свойств продуктов взаимодействия, цемента и мела, свидетельствуют, что мел является добавкой, сочетающей функции полидисперсного микронаполнителя, заполняющего в цементном камне гранулометрический промежуток между непрогидратировавшими зернами и продуктами гидратации цемента и активной минеральной добавки, вступающей в реакцию с алюмосодержащими фазами портландцементного клинкера и связывающей портландит и щелочи в трудно-растворимые комплексные соединения.

3. Вяжущий компонент бетона, а следовательно, и бетон, содержащий портландцемент и мел, обладает новым свойством - самозащищенностью в сильноагрессивных магниальных жидких средах (А.с. № 1498732).

4. Доказано, что бетон с добавкой мела отличается от равнопрочного бетона на портландцементе повышенными показателями плотности, модуля упругости, прочности при изгибе, водонепроницаемости (А.с. № 1655939), морозо- и солеморозостойкости.

5. Показана эффективность введения мела в бетонную смесь в комплексе с пластификатором ХДСК при замене мелом части цемента и песка. В этом случае расход цемента принятый по требованиям прочности может быть уменьшен до 20 %. Водонепроницаемость не снижается при замене мелом 30-35 % цемента.

6. Установлено, что бетонная смесь, содержащая мел, отличается повышенной водоудерживающей способностью, стабильностью. Добавка мела в пределах 30-35 % от массы цемента не приводит к повышению водопотребности смеси.

7. На основе данных статистического анализа составлены уравнения регрессии, позволяющие определить соотношение цемента, ме-

ла и песка в бетоне по заданным значениям прочности и водонепроницаемости.

8. Установлено, что бетон с добавкой мела обладает универсальностью. Особо эффективен такой бетон в конструкциях, к которым предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости, коррозионной и солеморозостойкости.

9. Разработаны технологические схемы, предусматривающие введение мела в бетон в виде суспензии после диспергации в воде. Предлагаемый способ является экономичным и экологически чистым.

10. Составы бетона с добавкой мела внедрены на оборонных объектах с целью повышения коррозионной стойкости и снижения расхода цемента в конструкциях. Общий экономический эффект за период с 1988 до декабря 1990 года (в ценах 1989 г.) составил 1 млн. 653 тыс.руб.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Стрелков М.И., Золотов М.С., Жидкова Т.В. Экономическая и экологическая эффективность добавки мела в бетон // Пром-сть строит. материалов. Сер. 3. Промышленность сборного железобетона. Экспресс-обзор. - 1991. - Вып. 1. - С. 43-55.

2. Стрелков М.И., Золотов М.С., Жидкова Т.В. Снижение расхода цемента в бетоне за счет применения карбонатных добавок // Физико-химические проблемы материаловедения и новые технологии. Технология бетона и железобетона. - Ч. II. - Белгород, 1991. - С. 42-43.

3. Жидкова Т.В. Исследование коррозионной стойкости вяжущих композиций, содержащих мел и суглинок // Реконструкция и капитальный ремонт зданий и сооружений. - Киев, 1989. - С. 7-10.

4. Стрелков М.И., Жидкова Т.В., Карчмарчик Э.И. Бетоны на основе вяжущих композиций, содержащих местные материалы, стойкие в сульфатных и магниальных агрессивных средах // Пути экономии цемента при производстве бетона и железобетона. - Челябинск, 1989. - С. 41.

5. Стрелков М.И., Золотов М.С., Жидкова Т.В. Комплексная добавка для повышения водонепроницаемости бетона // Пути экономии

цемента при производстве бетона и железобетона. - Челябинск, 1989. - С. 25.

6. Стрелков М.И., Золотов М.С., Жидкова Т.В. О составе бетона для дорожных покрытий // Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов: Тез.докл.Респ.конф. - Харьков, 1989. - С.192.

7. Жидкова Т.В. Бетоны повышенной водонепроницаемости // Молодые ученые - отрасли строительных материалов и строительству: Тез.докл. IU н.-т. конференции. - Белгород, 1989. - С.74.

8. Жидкова Т.В. Замена состава бетона для укрепления откосов рассолохранилищ // Тез.докл.XXV н.-т.конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников ХИИГХ. - Харьков, 1990. - С.92.

9. А.с. 1498732 А1 С 04 В 7/00. Вяжущее / Стрелков М.И., Спиранде Р.Л., Мелешко М.А., Жидкова Т.В., Попов Г.М. - № 439885/23-33; Заяв. 24.12.87; Оpubл. 7.08.89. Бел. № 29.

10. А.с. 1655939 А1 С 04 В 24/18. Вяжущее / Стрелков М.И., Золотов М.С., Жидкова Т.В. и др. - № 46381733/33; Заяв. 22.12.88; Оpubл. 15.06.91, Бюл. № 22.

